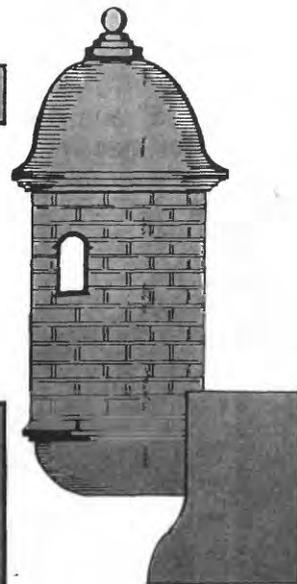


# AGUA SUBTERRANEA EN PUERTO RICO

Por Ferdinand Quiñones y José Alicea-Ortiz



## ¿QUE ES EL AGUA SUBTERRANEA?

El agua subterránea se encuentra bajo la superficie terrestre. En Puerto Rico, la existencia de este recurso pasa desapercibido debido a su naturaleza -fuera de vista-. Es interesante saber que de toda el agua dulce disponible en la isla la mayor parte de esta, en un momento dado, se encuentra bajo el sub-suelo (fig. 1).

A esto se debe que los 660 millones de galones por día (MGD) que utilizamos para suplir la demanda por agua para uso doméstico, comercial, industrial y agrícola el 38 por ciento o 250 MGD son obtenidos de los acuíferos.

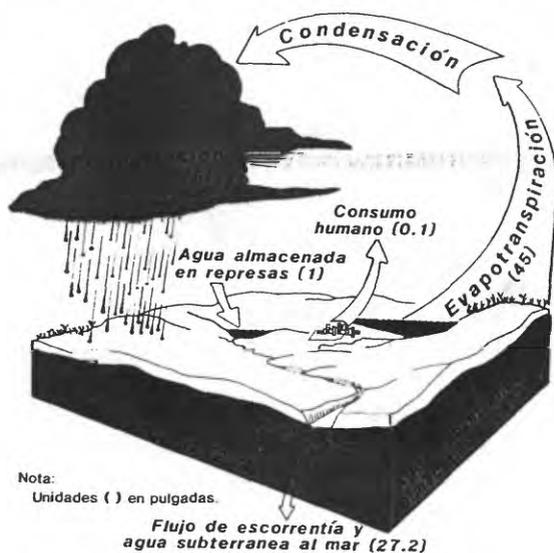


Figura 1.--Ciclo hidrológico en Puerto Rico.

## ¿QUE ES UN ACUIFERO?

En general, un acuífero es cualquier formación geológica que contenga o pueda contener agua y que rinda suficiente caudal a un pozo hincado dentro de éste. Técnicamente el término "suficiente caudal" es relativo, ya que donde el agua sea un recurso escaso, (como en la isla de Culebra), "suficiente caudal" se podría interpretar de 5 a 10 galones por minuto o cualquier formación geológica que rinda hasta 100 galones por día a pozos individuales. De igual forma, el hecho de que el agua sea "dulce" o no afecta tal designación. En resumen, el considerar una formación geológica -- sea ésta piedra caliza, aluvión o rocas de origen volcánico -- sea acuífero depende del criterio que se establezca por las agencias gubernamentales. En nuestro caso tal agencia es el Departamento de Recursos Naturales. Esta agencia ha definido legalmente como un acuífero "cualquier formación geológica que contiene y transmite, o

puede contener y transmitir, agua subterránea" (Reglamento para el Aprovechamiento y Uso de Las Aguas de Puerto Rico, DRN, Septiembre, 1984).

## ¿DE DONDE PROVIENE EL AGUA SUBTERRANEA?

El agua subterránea, al igual que el agua en los ríos, quebradas, manantiales y lagos, tiene su origen en la lluvia que cae abundantemente sobre Puerto Rico. Una parte de la lluvia se infiltra a través de los poros del terreno atrada hacia el centro de la tierra por la fuerza de gravedad. Las rocas bajo la superficie contienen poros y fracturas que varían en tamaño y abundancia. Estas rocas, o formaciones, se conocen como "acuíferos". Un acuífero es esencialmente un "depósito" para almacenar agua bajo la superficie. La cantidad de agua que puede almacenarse depende del tamaño y densidad de los poros y fracturas en las rocas. En materiales como aluvión y grava los poros pueden ocupar hasta un 30 por ciento del volumen total (fig. 2a y 2b). Las rocas calizas, debido a que se disuelven con facilidad, pueden contener cavidades y conductos de gran tamaño que aumentan la porosidad. (fig. 2c.)

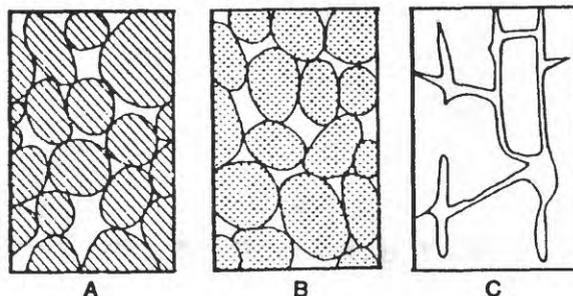


Figura 2.--A. Grava impermeable rodeada de poros.  
B. Grava permeable rodeada de poros.  
C. Roca caliza conteniendo cavidades.

Los acuíferos normalmente están formados en el "fondo" por rocas impermeables. A medida que el agua se infiltra en el subsuelo los poros de material que forma el acuífero se saturan. La "zona sa-



turada" aumenta en nivel a medida que el acuífero recibe mas "recarga". El nivel superior de la zona saturada se conoce como el "nivel o manto freático" (Fig. 3).

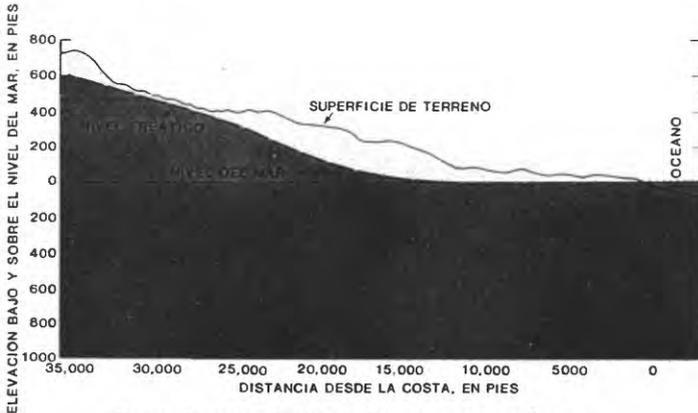


Figura 3.- Nivel freático del agua subterránea.

### ¿CUANTA AGUA SUBTERRANEA SE USA Y QUIEN LA USA EN PUERTO RICO?

El agua subterránea se usa en Puerto Rico principalmente para riego en la agricultura, para consumo humano en fábricas e industrias. Investigaciones del Servicio Geológico Federal indican que en 1980 se usaban cerca de 246 millones de galones por día (MGD) de agua subterránea en la Isla. Se estima que el uso aumenta un promedio de cerca de 1.5 MGD por año. El uso actual se estima en cerca de 250 MGD (Fig. 4).

Esto constituye cerca del 24 por ciento del total de uso de agua en Puerto Rico, incluyendo el agua usada en plantas hidroeléctricas.

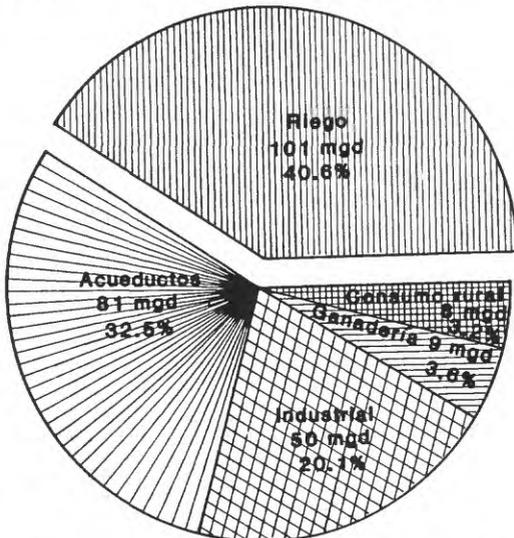


Figura 4.- Uso de agua en Puerto Rico en 1982.

El uso y la importancia del agua subterránea varían con la zona de la Isla. A lo largo de la costa norte el agua subterránea provee cerca del 20 por ciento del agua para el abasto del sistema de Acueductos. En la costa sur, cerca del 50 por ciento de los abastecimientos de uso público provienen de pozos profundos. (fig. 5).

La agricultura constituye el principal usuario de agua subterránea en la Isla. En 1980 cerca de 100 MGD de agua proveniente de pozos se utilizaban en la agricultura. Datos recientes indican que esta cantidad puede haber disminuido al reducirse la producción y riego de la caña de azúcar.

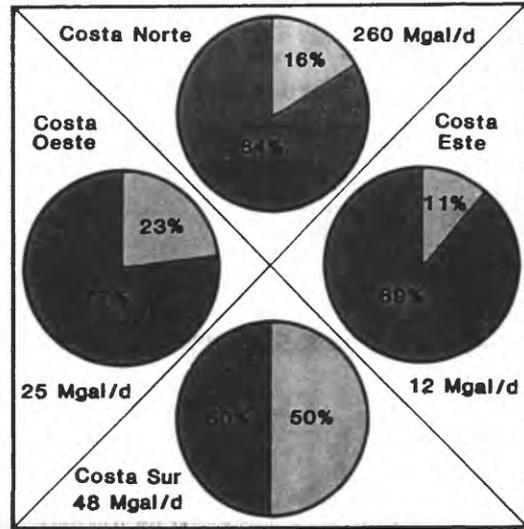


Figura 5.- Uso de agua en Puerto Rico en diferentes áreas.

El uso doméstico constituye el segundo renglón de importancia. Los acuíferos proveen cerca de 81 MGD de agua para usos en el hogar.

Las actividades industriales representan extracciones de cerca de 50 MGD, mayormente para usos en procesos químicos y alimenticios. La industria farmacéutica constituye la principal usuaria fabril de agua subterránea en la Isla.

### ¿DONDE SE ENCUENTRAN LOS PRINCIPALES DEPOSITOS DE AGUA SUBTERRANEA EN PUERTO RICO?

Los acuíferos más importantes en Puerto Rico se encuentran a lo largo de los valles de las costas norte y sur de la Isla (fig. 6). Aunque existen acuíferos en las costas este y oeste, así como en los valles interiores de Caguas, Cidra y Cayey, su importancia es menor comparada con los acuíferos del norte y sur.

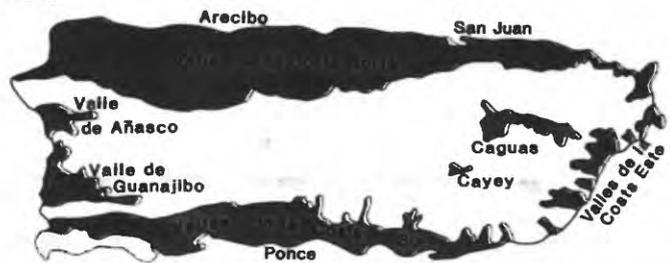


Figura 6.- Acuíferos principales en Puerto Rico.

En la costa norte, depósitos de residuos de caracoles y otros animales marinos forman el acuífero principal de Puerto Rico en una banda que se extiende desde Río Grande hasta Aguada (fig. 7). Estos depósitos ocupan un área de más de 600 millas cuadradas, extendiéndose desde la costa hasta 15 millas

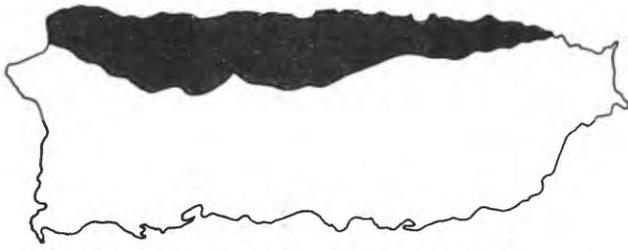


Figura 7.--Acuífero calizo del norte de la isla.

hacia el sur. En el área montañosa la "zona caliza" bordea los pueblos de Corozal, Morovis, Ciales, Lares y San Sebastián. El espesor de los depósitos varía desde las montañas hasta la costa, donde promedia cerca de 600 pies. En el área de Barceloneta el espesor excede 3,000 pies.

Las rocas calizas de la costa norte fueron depositadas a través de millones de años en una serie de formaciones geológicas. A medida que los residuos marinos se depositaron, cataclismos geológicos (volcanes, alzamientos, hundimientos) ocurrieron en el área del Caribe y Puerto Rico. Estos eventos permiten diferenciar los depósitos en una serie de capas a las cuales se les han dado nombres relacionados a pueblos y puntos en la zona. La mejor área para estudiar estas capas es quizás el sector de Barceloneta. En esta zona se han hecho perforaciones en las capas geológicas que nos permiten distinguirlas

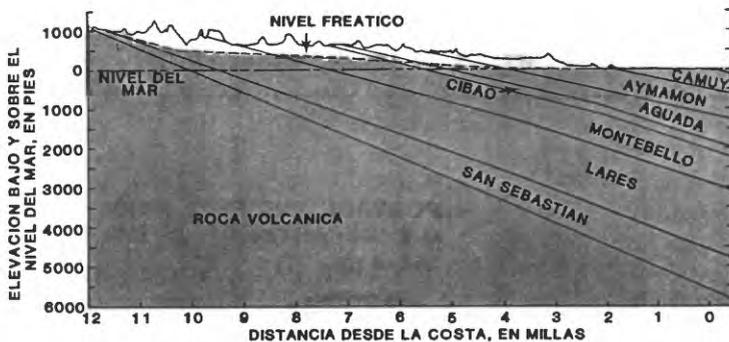


Figura 8.--Perfil del área caliza de la costa norte.

con bastante precisión (Fig. 8). Los estudios del USGS han demostrado que las capas calizas forman dos acuíferos separados con distintas características. Ambos acuíferos son muy productivos y almacenan grandes cantidades de agua.

Las dos capas superiores, denominadas "Caliza de Aguada" y "Caliza de Aymamón", forman el acuífero "llano" o "freático". Estas dos capas tienen un espesor combinado que promedia 600 pies en los valles. A medida que se extienden hacia el sur, su espesor disminuye hasta la superficie. Ambas capas están inclinadas cerca de cinco (5) grados de la vertical debido a un movimiento sísmico hace millones de años que levantó el centro de la Isla. Esta inclinación permite que el agua que se infiltra en las rocas se mueva hacia el norte hasta descargar en el Océano Atlántico.

El acuífero llano de la costa norte provee más de 50 MGD de agua para usos industriales, agrícolas y domésticos. Los pueblos de Dorado, Vega Alta y Manatí dependen casi exclusivamente de agua del acuífero llano para usos domésticos e industriales. Un gran número de industrias en el área, principalmente farmacéuticas, obtienen el agua para sus procesos industriales del acuífero llano. En el área del Cruce Dávila, el acuífero llano provee cerca de 10 MGD para usos industriales.

El acuífero profundo o "artesiano" de la costa norte está formado por rocas de la "Caliza Lares" y la "Caliza Montebello" (parte de la "Caliza Cibao"). La capa superior formada por la Caliza Cibao, ocurre a profundidades que exceden 1,000 pies bajo la superficie en los valles cerca de la costa. Contrario a las demás formaciones que son mayormente carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), la parte superior de la caliza Cibao contiene hasta un 60 por ciento de barro impermeable. La presencia del barro hace que las rocas en la Caliza Cibao sean impermeables en algunas zonas. Donde las rocas son impermeables, el agua no penetra hacia las capas inferiores de las calizas Montebello y Lares. Igualmente, la impermeabilidad no permite que el agua que se infiltra hacia las calizas inferiores fluya hacia la superficie. Esta condición permite la acumulación de agua en las Calizas Lares y Montebello a niveles que exceden el nivel freático del acuífero llano, y en algunas áreas, el nivel de la superficie de la tierra. La elevación del nivel hidrostático en el acuífero profundo por encima de la capa impermeable (denominada confinadora) crea las condiciones artesianas que ocurren en sectores de la costa norte.

El acuífero artesiano provee más de 6 MGD para usos industriales y domésticos en el área del Cruce Dávila. Como resultado del desarrollo en el área, las presiones artesianas han disminuido notablemente a través de los años. Sin embargo, es muy posible que la disminución en las presiones artesianas en los pozos (de más de 100 a menos de 30 libras por pulgada cuadrada en algunos pozos) se deba a fallas en la construcción de los pozos. Investigaciones realizadas por el USGS y consultores privados indican que la mayor parte de los pozos sufren de fracturas en sus entubados, permitiendo que el agua del acuífero artesiano se escape hacia el acuífero llano.

En adición a los acuíferos calizos de la costa norte, los acuíferos aluviales de la costa sur son de gran importancia. Depósitos conteniendo aluvión y grava

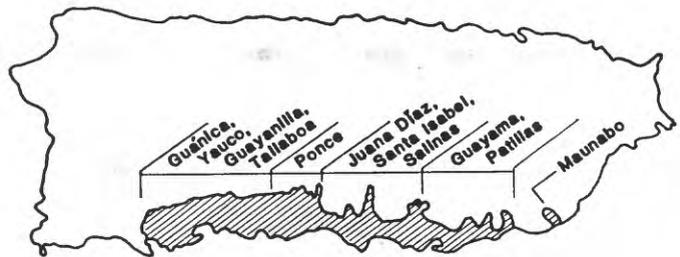


Figura 9.--Acuífero aluvial de la costa sur.

ocurren a lo largo de los valles de la costa sur desde las inmediaciones de Maunabo hacia el oeste hasta los valles de Yauco y Guayanilla (fig. 9). Los depósitos más profundos y productivos ocurren desde Salinas hasta Ponce. En esta zona, el espesor del aluvión alcanza hasta 600 pies de profundidad.

Los acuíferos de la costa sur proveen más de 25 MGD de agua para riego, industrias y usos domésticos. La mayor parte de los abastecimientos de agua de los pueblos de Guayama, Salinas, Santa Isabel y Juana Díaz provienen de agua subterránea. Por muchos años la industria del azúcar dependió casi exclusivamente de agua subterránea para riego de la caña. El desarrollo de nuevos cultivos de frutos y vegetales depende al presente de riego por goteo utilizando agua subterránea.

## ¿QUE PROBLEMAS EXISTEN EN PUERTO RICO CON LAS AGUAS SUBTERRANEAS? EXTRACCION EXCESIVA:

Un acuífero, al igual que un lago o cualquier depósito de agua, mantiene un nivel constante mientras las extracciones (el bombeo) no excedan la recarga. En varias áreas de Puerto Rico, especialmente durante la época de sequía, la cantidad de agua que se extrae de los acuíferos excede la recarga que proveen la lluvia y ríos. A lo largo de la costa norte, en los sectores de Dorado, Manatí y el Cruce Dávila, las extracciones del acuífero llano durante los meses de sequía exceden la recarga. A consecuencia del bombeo excesivo, los niveles freáticos han bajado en estas áreas. Al aumentar la profundidad de la superficie de la tierra al nivel freático, la energía requerida para bombear el agua aumenta, incrementando los costos de operación de los pozos. La reducción en los niveles freáticos también puede ocasionar que en las costas el agua del mar penetre en el acuífero, contaminándolo con agua salada. Varios sectores en los acuíferos del norte y del sur están al presente afectados por intrusión salina (fig. 10).

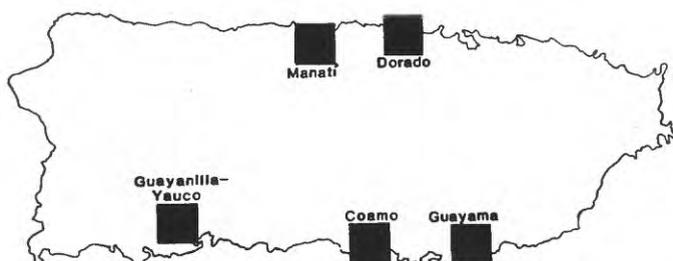


Figura 10.--Áreas afectadas por intrusión salina.

## CONTAMINACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS.

La contaminación de las aguas subterráneas es uno de los problemas más recientes y significativos que amenazan este importante recurso. Investigaciones recientes realizadas por el USGS indican que, de 350 pozos en los cuales se tomaron muestras para análisis orgánicos, cerca del 15-20 por ciento resultaron positivos. Desde el 1981, en Puerto Rico se

han identificado ocho áreas que han sido designadas por la Agencia de Protección Ambiental Federal (EPA) como focos contaminados prioritarios (fig. 11). Esta lista incluye las áreas de Barceloneta, Vega Alta, Guayama y Patillas, donde la contaminación consiste en la presencia de compuestos orgánicos tóxicos en el agua subterránea. Adicionalmente, se han encontrado pozos contaminados en Ponce, Juana Díaz, Comerío, Caguas y San Juan.



Figura 11.--Áreas designadas por la Agencia de Protección Ambiental como focos prioritarios de contaminación.

Los contaminantes principales encontrados en las aguas subterráneas en Puerto Rico incluyen solventes orgánicos, mayormente Tricloroetileno (TCE), Tetracloroetileno (PCE) y Tetracloruro de Carbono (CCL4). Estos solventes son utilizados principalmente en industrias, aunque muchos compuestos usados en el hogar y negocios pequeños contienen los mismos. La mayor parte de los removedores de grasa contienen TCE o CCL4. El TCE y el PCE han sido clasificados por la EPA como compuestos peligrosos y carcinógenos.

Pruebas preliminares también han detectado plaguicidas y residuos de plaguicidas en varios pozos tanto en la costa norte como la costa sur. Grandes cantidades de plaguicidas, incluyendo Dieldrin y DDT, fueron utilizados en Puerto Rico durante muchos años, principalmente en las áreas de cultivo de caña de azúcar. La emigración de estos compuestos a través del subsuelo hasta el manto freático es un proceso que puede tardar años. Estos contaminantes tienen el potencial de afectar la calidad de las aguas subterráneas en forma imprevista en cualquier momento.

## EL MANEJO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

En Puerto Rico se aplican una serie de leyes federales y locales que reglamentan el uso, desarrollo, manejo y conservación de las aguas subterráneas. Sin embargo, la aplicación de estas leyes es reciente, por lo cual a través de muchos años el manejo de las aguas subterráneas ha procedido sin ningún orden de planificación o científico.

El Departamento de Recursos Naturales de Puerto Rico (DRN) es la agencia principal responsable por el manejo de las aguas subterráneas. La Ley de Aguas de Puerto Rico (Ley 136 del 3 de junio de 1976) delega al DRN la responsabilidad de implementar los reglamentos necesarios para el "aprovechamiento, uso y conservación de las aguas en Puerto Rico". En septiembre de 1984, el DRN publicó un reglamento que incluye el manejo de las aguas subterráneas. En sus partes más importantes del reglamento incluye:

1. Un sistema de permisos y franquicias para el hincado de pozos y uso de las aguas subterráneas.

2. Autorización para designar como "áreas críticas", incluyendo acuíferos, aquellas zonas donde los recursos de agua pudieran verse afectados por demandas excesivas o contaminación.

3. Un sistema de permisos para reglamentar la recarga de fluidos a los acuíferos.

En el nivel federal, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) es la entidad principal responsable por reglamentar el uso y manejo de las aguas subterráneas. EPA delega a agencias locales la implementación de los programas actuales que responden a las siguientes leyes:

1. Ley de Agua Limpia de 1977 -reglamenta las descargas industriales, domésticas y agrícolas. Delegado a la Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico (JCA).

2. Ley de Aguas Potables de 1974 -reglamenta los sistemas de agua potable e inyección de desperdicios a los acuíferos. Las partes relacionadas con las aguas potables han sido delegadas al Departamento de Salud de P.R. (DS), mientras las de inyección a la JCA. El DS ha implementado un reglamento que establece concentraciones máximas de compuestos químicos permisibles en las aguas potables, incluyendo las subterráneas. En 1985 la JCA promulgó un extenso reglamento para el control local de inyección de fluidos a los acuíferos.

3. Ley de Conservación y Reclamo de Recursos (RECRA) - reglamenta el manejo de los desperdicios sólidos y tóxicos. Delegado a la JCA.

4. Ley de Minería de 1977 -Reglamenta la protección de las aguas subterráneas contra efectos adversos de las operaciones mineras. Delegado a la JCA. Otras leyes federales relacionadas a la conservación de las aguas subterráneas incluyen la "Ley de Substancias Tóxicas de 1976" (controla la producción y disposición de sustancias tóxicas) y la "Ley de Control de Plaguicidas" (reglamenta el uso de plaguicidas que pueden contaminar las aguas subterráneas).

Aún cuando la EPA ha delegado a agencias en Puerto Rico la responsabilidad de administrar la mayor parte de las leyes indicadas, EPA mantiene una oficina en la isla y labora activamente en programas ambientales que afectan las aguas subterráneas. Recientemente EPA promulgó una serie de medidas dirigidas a una "estrategia nacional para la protección de las aguas subterráneas". EPA, a través de la JCA, concentrará sus esfuerzos hacia programas para reglamentar el diseño, construcción y operación de vertederos municipales, tanques soterrados y charcas superficiales. Los vertederos y tanques soterrados constituyen las fuentes principales de contaminación a los acuíferos. En Puerto Rico se operan cerca de 50 vertederos localizados sobre acuíferos que proveen agua potable a diversos municipios (fig. 12). Las nuevas reglamentaciones requerirán monitoría continua y la limpieza de aquellos vertederos que contienen contaminantes peligrosos. Los tanques

soterrados en las gasolineras serán reglamentados a través de pruebas de filtración e inspecciones periódicas para minimizar los escapes líquidos.

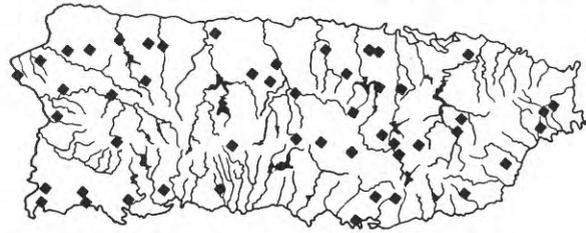


Figura 12.--Localización de vertederos de desperdicios sólidos.

El US Geological Survey, División de Recursos de Agua, aunque no tiene responsabilidades legales para el manejo de los acuíferos, lleva a cabo investigaciones sobre los recursos de agua subterráneos en Puerto Rico. El programa del USGS se desarrolla en cooperación con varias agencias estatales y federales, incluyendo la JCA, DRN, Salud, Acueductos, Fomento, Agricultura, EPA, y el Cuerpo de Ingenieros. Los proyectos incluyen la operación de redes de monitoría de niveles freáticos, estudios periódicos sobre la calidad de las aguas subterráneas, así como investigaciones específicas de los recursos de agua subterráneas en varios sectores en la isla (fig.13). Las investigaciones del USGS van dirigidas a proveer información sobre las aguas subterráneas y los acuíferos que pueda ser utilizada por las agencias locales y federales en su manejo y reglamentación.

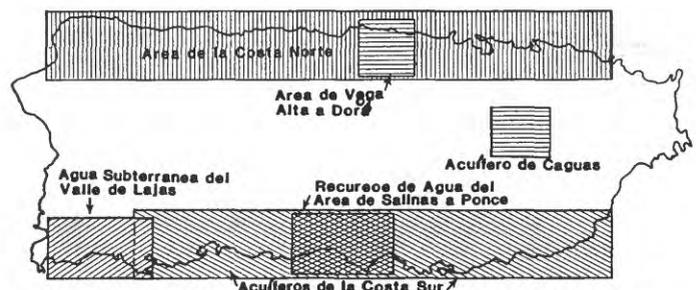


Figura 13.--Áreas en Puerto Rico donde el USGS investiga las aguas subterráneas.

El USGS, en cooperación con el DRN, ha comenzado a desarrollar una serie de modelos matemáticos que simulan el flujo de agua subterránea en los acuíferos principales en la Isla. Estos modelos pueden utilizarse para simular los efectos de extracciones (pozos) adicionales, así como cambios en recarga (debido a lluvia o artificialmente). Aunque los modelos no son herramientas infalibles, su precisión se mejora constantemente a medida que se obtiene información adicional sobre los acuíferos. Al presente el DRN los utiliza como uno de varios elementos de juicio en el proceso de permisos para extracciones de agua subterránea. Eventualmente modelos más refinados serán la herramienta principal a utilizarse en el manejo de las aguas subterráneas.

## **EL MANEJO DE LOS RECURSOS DE AGUA SUBTERRANEAS DE PUERTO RICO: ALTERNATIVAS PARA EL FUTURO.**

Los estimados más recientes de la Junta de Planificación predicen que la población de Puerto Rico alcanzará 4 millones para el año 2010. El incremento poblacional redundará en aumentos sustanciales en la demanda y usos de los recursos de agua subterráneos. El manejo adecuado de los recursos requerirá acciones vigorosas dirigidas a:

1. Implementación estricta de los reglamentos para el uso, control y conservación de las aguas subterráneas.

2. El establecimiento de redes de monitoría a largo plazo para determinar cambios en niveles freáticos y la calidad de las aguas.

3. Identificación y designación como acuíferos críticos aquellos cuyo uso es primordialmente para consumo humano.

4. Limitar el desarrollo urbano e industrial en áreas de recarga de acuíferos críticos.

5. Establecer incentivos para la conservación del agua, tales como tarifas variables proporcionales al uso.

6. Legislación dirigida a requerir el uso de equipos pluviales en duchas y baños que minimizen el uso de agua.

7. Promover programas de educación comenzando en la escuela elemental sobre la conservación de los recursos de agua.

## **FUENTES DE INFORMACION SOBRE LOS RECURSOS DE AGUA SUBTERRANEA EN PUERTO RICO.**

U.S. GEOLOGICAL SURVEY, (USGS), DIVISION DE RECURSOS DE AGUA  
GPO Box 4424, San Juan, Puerto Rico 00936  
Tel 753-4414, 783-4660

DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES DE PUERTO RICO, (DRN), DIVISION DE RECURSOS DE AGUA  
P.O. Box 5887, Puerta de Tierra Station, San Juan, Puerto Rico, 00906, Tel 724-4418

JUNTA DE CALIDAD AMBIENTAL DE PUERTO RICO, (JCA),  
DIVISION DE CALIDAD DE AGUA,  
P.O. Box 11488, Santurce, Puerto Rico, 00910,  
Tel 723-0733

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, (EPA),  
CARIBBEAN OFFICE, Tel 725-7825  
P.O. Box 792, San Juan, P.R. 00902

DEPARTAMENTO DE SALUD DE PUERTO RICO, (DS), DIVISION DE AGUA POTABLE,  
San Juan, Puerto Rico, 00908  
Tel 763-4307

AUTORIDAD DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS (AAA) DE PUERTO RICO, OFICINA DE PLANIFICACION DE RECURSOS DE AGUA,  
P.O. Box 7066, Barrio Obrero Station,  
San Juan, Puerto Rico, 00916 Tel 758-5757

---